

Mika Auvinen

# METKU


## Metsäenergian kuivumistutkimus

Opinnäytetyö  
Metsätalouden koulutusohjelma


Toukokuu 2011



# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  4.5.2011
<b>Tekijä</b>  Mika Auvinen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Metsätalouden koulutusohjelma Metsätalous
<b>Nimeke</b>  METKU, Metsäenergian kuivumistutkimus		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Ilmasto muuttuu ja siksi fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään. Uusiutuvien energialähteiden käyttöä tulee siis lisätä. Suomessa uusiutuvia energialähteitä löytyy onneksi metsistä. Kansallinen metsäohjelma asettaa käytön tavoitteet korkealle jo lähivuosina. Metsäenergian käyttöä tulisi lisätä puolella vuoden 2009 ennätysmäärästä vuoteen 2020. Energian korjuu ja käyttö metsistä vaatii vielä kuitenkin tutkimusta ja kehitystä, jotta korjuu olisi tehokasta ja polttoaineen laatu hyvää ja tasalaatuista. Eri metsäenergialaatuojen oston kannalta mittaamisen tulee olla mutkatonta ja luotettavaa.</p> <p>Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää eri tavoin korjatun metsäenergian kuivumista ja hakea optimaalista korjuumallia, jotta polttoaine olisi mahdollisimman kuivaa. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa uusien muuntotaulukoiden laatimiseen kuormainvaakamittausta varten. Tutkimustyömaat sijaitsivat Metsäliitto Osuuskunnan Jyväskylän ja Viitasaaren hankintapiirin alueilla. Eri tutkimustyömailta korjattiin hakkuutähteitä ja kantoja sekä energiarankaa karsittuna ja kokopuuna. Tutkimus suoritettiin tarkan korjuu- ja haketusaikataulun mukaisesti ja työmailta seurattiin myös sademääriä. Kosteusnäytteet kerättiin koe-eristä Äänevoiman haketus kentällä eräkohtaisesti suunnitelman mukaan.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Bioenergia, energiapuu		
<b>Sivumäärä</b> 27 s.	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b> URN:NBN:fi:mamk-opinn2011A2370
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b> Työ on luottamuksellinen 31.12.2015 saakka		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Timo Leinonen		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Metsäliitto Osuuskunta

## DESCRIPTION

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  May 4, 2011
<b>Author</b>   Mika Auvinen	<b>Degree programme and option</b>  Degree Programme in Forestry	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  METKU, A Study on the Drying of Forest Biomass		
<b>Abstract</b>  <p>The climate is changing and, therefore, the use of fossil fuels is to be reduced. The use of renewable energy will therefore be increased. In Finland, renewable energy sources can be found in the forests, fortunately. The National Forest Programme will already set high goals in their use in the coming years. The use of forest energy should be raised by a half from the record number of 2009 by 2020. Energy harvesting and use of forests, however, still require research and development, in order for the harvesting to be effective and to produce good quality and homogeneous fuel. The measurement should be straightforward and trustworthy in terms of the purchase of different forest energy sources.</p> <p>The goal of this study was to determine forest biomass drying in different ways, and to seek the optimal harvesting model, so that the fuel should be as dry as possible. Another aim was to produce information on the new conversion table in preparation for measuring with a load scale. Areas of the study were located in the supply areas of Metsäliitto Jyväskylä and Viitasaari. Harvesting residue and stumps were collected in various sites of the study, as well as cut energy wood from thinnings with and without branches. The study was conducted according to a detailed harvesting and wood chipping schedule the rainfall was also monitored in sites. Moisture samples were collected in the test items in Äänevoima batch according to plan.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Bioenergy, energy wood		
<b>Pages</b> 27 p.	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b> URN:NBN:fi:mamk-opinn2011A2370
<b>Remarks, notes on appendices</b>  		
<b>Tutor</b> Timo Leinonen	<b>Employer of the bachelor's thesis</b> Metsäliitto Osuuskunta	

# SISÄLTÖ

## KUVAILULEHDET

1 JOHDANTO.....	1
2 PUUN KUIVUMINEN JA ENERGIASISÄLTÖ.....	2
3 TUORETIHEYSTAULUKOT.....	3
4 KUORMAINVAAKA ENERGIAPUUN MITTAUKSESSA.....	3
5 METSÄENERGIAN KORJUU .....	4
5.1 Hakkuutähteet.....	4
5.2 Kannot .....	4
5.3 Karsittu energiaranka .....	5
5.4 Karsimaton energiaranka eli kokopuu.....	5
6 VARASTOINTI TIENVARRESSA .....	6
7 PUU POLTTOAINEENA JA POLTTOLAITOSTEN VAATIMUKSET .....	7
8 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET .....	9
9 TUTKITTAVAT VAIHTOEHDOT .....	10
9.1 Karsittu energiaranka 952 (normaali tienvarsipino).....	10
9.2 Karsittu energiaranka 952 (jolupuupinossa) .....	10
9.3 Karsittu energiaranka 952 (kuivatus palstalla).....	11
9.4 Karsimaton energiaranka 994 (kuivatus tienvarsipinossa).....	11
9.5 Karsimaton energiaranka 994 (kuivatus palstalla) .....	11
9.6 Latvusmassa (kuivatus tienvarsimuodostelmassa).....	11
9.7 Latvusmassa (kuivatus palstalla).....	12
9.8 Kantopuun kosteusmuutos (kuivatus tienvarressa) .....	12
10 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	12
10.1 Tutkimuksen tavoite .....	12
10.2 Korjuu ja kaukokuljetus .....	13

10.3 Haketus ja Murskaus .....	14
10.4 Näytteenotto ja puulajisuhteet .....	15
10.5 Sademäärän mittaus.....	16
 11 TUTKIMUSTULOKSET.....	 16
11.1 Karsittu energiaranka .....	16
11.2 Kokopuu eli karsimaton energiaranka.....	18
11.3 Hakkuutähteet.....	19
11.4 Kantopuu .....	20
 12 YHTEENVETO .....	 20
 13 POHDINTA .....	 20
 LÄHTEET .....	 22

## 1 JOHDANTO

Ilmaston muuttuessa ja fossiilisten polttoaineiden määrän vähentyessä metsästä saatavan energian käyttöön kohdistuu paineita. Kansallinen metsäohjelma asettaa metsähakkeen käytön tavoitteet vähintään 8 - 12 milj. kuutiometriin vuonna 2015. (Bioenergia maa- ja metsätaloudessa 2008, 8.) Vuodeksi 2020 tavoite on noin 13,5 milj. kuutiometrissä. Vuonna 2009 Suomessa korjattiin Metsätehon mukaan ennätysmäärä energiapuuta. Määrä oli noin 6,1 milj. kuutiometriä, joka on vasta alle puolet vuoden 2020 tavoitteesta. (Kärhä 2009b.) Uusiutuvien energiamuotojen osuus energian loppukulutuksesta tulisi olla EU:n komission asettamien velvoitteiden mukaan 38 % vuonna 2020, kun se vuonna 2005 oli vain noin 28,5 %. (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008, 8.) Hallituksen selontekona eduskunnalle antamassa Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa on arvioitu, että vuonna 2020 puupolttoaineiden käyttö Suomessa on 93 - 97 terawattituntia (TWh), josta metsähakkeen käyttötavoitteeksi on asetettu yhteensä 12 miljoonaa kiintokuutiometriä eli noin 24 TWh. (Kärhä 2009a.)

Metsästä korjattavan energian korjuumenetelmät sinällään ovat melko yksinkertaisia, mutta menetelmien optimointiin ja energiapuun mittaamiseen liittyvät asiat vaativat vielä kehitystä. Metsästä saatavan energian tulisi olla tasalaatuista ja mahdollisimman kuivaa. Tämä korostuu erityisesti pienille laitoksille toimitettaessa. Energiapuun (energiaranka, hakkuutähteet ja kannot) kosteusmuutoksista varastoitaessa ei ole juurikaan vertailevaa tutkimusta eri menetelmien välillä. Parhaiden kuivatusmenetelmien löytäminen vähentää tarvittavan polttoaineen määrää kun veden haihduttamiseen poltossa kuluu pienempi osa energiasta. Kun polttoainetta tarvitaan vähemmän, tarvitsee sitä myös ostaa, korjata ja kuljettaa vähemmän. Tämä tuo säästöjä ja ketäpä nyt ei lisäeurot kiinnostaisi.

## 2 PUUN KUIVUMINEN JA ENERGIASISÄLTÖ

Puu tarvitsee vettä muiden kasvien tavoin elintoimintojensa ylläpitämiseen. Veden avulla puun tarvitsemat ravinteet liikkuvat puun eri osien välillä. Puuaineen kosteudella tarkoitetaan veden massan ja näytteen kokonaismassan suhdetta. (Kärkkäinen 2003, 125.) Kosteus vaihtelee eri rungonosien välillä. Vettä on havupuissa eniten rungon pintakerroksissa, kun taas koivussa säteensuuntainen vaihtelu rungossa on päinvastainen. Kosteus kasvaa yleensä kaikissa em. puulajeissa mentäessä tyvestä latvaa kohden ja on suurimmillaan lehdissä tai neulasissa. (Kärkkäinen 2003, 128.)

Puu on hygroskooppinen eli vettä imevä aine. Puuaine siis pyrkii aina tasapainokosteuteen ympäröivän ilman kanssa. (Kärkkäinen 2003, 175.) Puuaineen kuivattaminen on siis yleensä optimaalisinta ilmakosteuden ollessa mahdollisimman pieni ja haihdunnan suuri. Käytännössä pienen ilmakosteuden lisäksi tarvitaan myös lämmin ilma, jolloin kosteus siirtyy puun ytimestä pintaa kohti ja tuulta, joka kuljettaa vesihöyryn pois puun pinnasta. (Hillebrand & Kouki 2006, 35.) Ilmakosteuteen ei voida kuitenkaan juuri vaikuttaa energiapuun korjuussa, jolloin on pyrittävä vaikuttamaan muihin tekijöihin. Korjuussa on pyrittävä estämään puun kastuminen sateiden tai maaperän kosteuden vaikutuksesta. Lisäksi varastopaikan oikeanlainen sijoittaminen on ensiarvoisen tärkeää.

Puun energiasisältöön vaikuttaa eniten juuri kosteus. Puun sisältämä kosteus laskee polttolaitoksen kattilan lämpötilaa ja osa energiasta menee aina veden haihduttamiseen. Kaatotuoreen puun kosteus on yleensä 50 - 60 %, joka on energiakäytön kannalta usein liian korkea. Kuivattamalla energiapuuta 55 % kosteudesta 25 - 30 % kosteuteen saadaan kasvatettua lämpöarvoa 10 % tilavuusyksikköä kohden ( $2,0 \text{ MWh:sta/m}^3$  noin  $2,2 \text{ MWh:iin/m}^3$ ). (Hillebrand & Nurmi 2004, 7.) Energiapuuta harvoin käytetään kaatotuoreena polttoaineeksi, mutta jo muutaman prosenttiyksikön muutos kuivemaksi tarkoittaa suurta säästöä polttoainemäärien ollessa suuria. Puu on ongelmallinen polttoaine juuri kosteusvaihteluiden vuoksi, koska saatava energiamäärä ei ole tilavuusyksikköä kohden vakio kuten öljyllä.

### 3 TUORETIHEYSTAULUKOT

Tuoretiheydellä eli tilavuuspainolla tarkoitetaan mitattavan puutavaran kuutiomassaa. Tuoretiheystaulukot ovat energiapuun mittaustoimikunnan laatimia muuntotaulukoita harvennusenergiapuun määrän muuntamiseksi massayksiköistä tilavuusyksiköiksi (kg:sta m<sup>3</sup>:ksi). Taulukoita käytetään energiapuun mittaamisessa kuormainvaakamethodella. Eri puulajien kuivatuoretiheydet, eli kuutiomassa ilman vettä, eroavat toisistaan, minkä vuoksi eri puulajeille on taulukoissa eri kertoimet. Taulukoista pitää valita oikea tuoretiheysluku maantieteellisen alueen, puulajin ja ajankohdan perusteella. Jaottelussa havupuut ovat yhdessä taulukossa, koivu toisessa ja sekapuuston taulukkoa käytetään, jos pääpuulajin osuus on alle 70 %. Maantieteellisesti Etelä-Suomelle ja Pohjanmaalle käytetään yhtä taulukkoa ja Kainuulle, Koillismaalle, Lapille ja Ylä-Lapille on tehty yhteinen taulukko. Taulukoista löytyy luokat hakkuuajan kohdan ja kuivumisajan perusteella. Luokkaa edustavaa tuoretiheyspainoa käyttämällä saadaan siis laskettua punnitustuloksesta tienvarteen ajetun energiapuuerän tilavuus. (Lindblad ym. 2010)

### 4 KUORMAINVAAKA ENERGIAPUUN MITTAUKSESSA

Kuormainvaakoja on käytetty puutavara-autoissa jo jonkin aikaa, mutta kuormatraktoreissa niitä on ollut vasta vähän aikaa. Punnituksen suorittava osa on nosturin kärjen ja kouran kääntäjän välissä oleva riipuke. Ohjaamossa sijaitsee joko erillinen näyttö tietokoneineen, joka suorittaa punnitukseen liittyvän laskennan, tai koneen omaan tietokoneeseen integroitu vaakaohjelmisto. Vaakoja on markkinoilla kahdella periaatteella toimivia: metallisiin venymäliuskoihin perustuvia (Mecanil, Epec, Ponsse ja John Deere) ja hydraulista öljynpainetta mittaavaan paineanturiin perustuvia (Loadmaster, Tamtron ja Valmet). Noin 20 % käytössä olevista malleista perustuu venymäliuskoihin ja 80 % hydrauliseen öljynpaineeseen. (Melkas 2010.)

Mittausta aloitettaessa vaa`alle syötetään kyseisen leimikon tunnistetiedot. Kuorman punnitseminen tapahtuu yleensä kuormaa purkaessa. Vaaka rekisteröi punnittavat taaikat muistiin tavaralajeittain kuten hakkuukoneen mittalaite. Ainakin osalla vaaista voidaan ajaa myös sekakuormia, jolloin osa purettavista taakoista saadaan nappia pai-



namalla rekisteröityä eri tavaralajiksi. Punnitustuloksesta voidaan tulostaa suoraan mittaustodistus tai se voidaan lähettää tiedonsiirrolla suoraan metsäjärjestelmään.

Koneiden kehitystä seuraavana täytyy todeta, että kehitys ei ole ollut aivan ongelmantonta. Uusia vaakamalleja on tullut markkinoille kuin sieniä sateella ja nyt kolmella Suomessa käytettävällä valtamerkillä (Ponsse, John Deere ja Valmet) on myös omat vaakamallinsa. Jokaisella valmistajalla tuntuu olevan omat murheensa ja aivan valmiita eivät tuotteet vielä ole. Osa vaakamalleista ei sovellu vanhempiin koneisiin ja tiedonsiirtojärjestelyt eivät vielä oikein toimi metsäjärjestelmien kanssa. Pidän silti energiapuun mittaamista punnitsemalla parhaana menetelmänä ja uskon, että laitteiden kehitys toimiviksi on nopeaa. Toimiessaan kuormainvaakamittaus on tarkkaa ja nopeaa. Se on taloudellisesti paras vaihtoehto, koska mittaaminen tapahtuu muun työn lomassa aiheuttamatta juurikaan ylimääräistä työtä.

## **5 METSÄENERGIAN KORJUU**

### **5.1 Hakkuutähteet**

Hakkuutähteillä tarkoitetaan uudistushakkuilta kerättävää oksa- ja latvusmassaa. Kohteet ovat yleensä kuusivaltaisia. Hakkuun yhteydessä tähteet karsitaan kasoihin, joista ne on helppo kerätä kyytiin metsäkuljetusvaiheessa. Kasojen annetaan kuivua uudistuslalla kesäaikaan vähintään pari viikkoa, mutta mielellään pidempään, jotta osa neulasista varisisi pois. Neulasten lehtivihreän sisältämä kloori aiheuttaa polttolaitoksissa haitallista korroosiota. (Knuuttila 2003) Lisäksi neulasten ja lehtien vihermassa aiheuttaa liian tuoreena ajettuna varastokasassa kompostoitumista. Kuljetus tapahtuu kuormatraktorilla ja latvusmassa voidaan tarvittaessa punnita mittaustavasta riippuen. Varastokasat tehdään tienvarteen aukealle ja ilmavalle paikalle ja yleensä peitetään peittopaperilla.

### **5.2 Kannot**

Energiakäyttöön kantoja kerätään pääasiassa metsänuudistamisen yhteydessä. Kohteet ovat yleensä kuusivaltaisia, koska kuusen kannot ovat helpoimpia korjata nykytekniikalla. Kaivinkone irrottaa kannot joko kantoharalla tai kannonnostoon suunnitellulla

laitteella. Nostovaiheessa kantoja paloitellaan pienemmiksi, jotta maa-aines ja kivet irtoaisivat helpommin. Paloittelun jälkeen kannot ravistellaan puhtaammaksi ja nostellaan kasoiksi. Kasoista kannot ajetaan muutaman viikon kuivattamisen jälkeen kuormatraktorilla tienvarteen varastokasaksi. Kasa tulisi sijoittaa aukealle ja ilmavalle paikalle.

### **5.3 Karsittu energiaranka**

Karsittua energiarankaa kerätään harventamalla nuorista metsistä. Kohteet ovat yleensä metsänhoidollisesti hiukan huonosti hoidettuja ja riukuuntuneita suuresta runkoluvusta johtuen. Karsitun energiarangan korjuukohteet ovat tällä hetkellä usein mäntyvaltaisia, koska männiköissä pyritään jättämään oksien ja neulasten sisältämät ravinteet metsään. Karsittua rankaa kerätään lisäksi yhdistelmäkorjuukohteilta, joista kerätään myös kuitupuuta. Korjuu tapahtuu normaalista ensiharvennuksesta poiketen joukkokäsittelyhakkuuna. Joukkokäsittelyssä kerätään useampia runkoja hakkuupäähän yhtä aikaa ja syötetään läpi kerralla. Tällä menetelmällä saadaan tehokkuutta muuten huonosti kannattavien kohteiden korjuuseen. Karsiminen alentaa kertymää karsimattomaan verrattuna n. 20 %. (Lepistö 2010, 11.) Energiaranka kerätään leimikolta normaalisti kuormatraktorilla. Mittaus tapahtuu metsäkuljetuksen yhteydessä punnitsemalla. Varastokasa tehdään mahdollisimman aukealle ja ilmavalle paikalle ja peitetään peittopaperilla.

### **5.4 Karsimatonta energiaranka eli kokopuu**

Karsimatonta energiarankaa korjataan yleensä karsitun tapaan metsänhoidollisesti hiukan huonosti hoidetuista nuorista metsistä. Kohteet ovat yleensä karsitun rangan kohteita rehevämpiä ja nuorempia. Kohteissa on useasti leppä ja koivu vallannut tilan kuuselta. Runkoluku on näissäkin kohteissa paljon normaalia ensiharvennusmetsää suurempi. Korjuu tapahtuu normaalilla hakkuukoneella keräten useampia runkoja kerralla kouraan. Kerätty nippu kaadetaan kourakasoiksi uran varteen. Kourakasojen tulisi olla mahdollisimman hyvin irti maasta. Kaadetut niput katkaistaan tarvittaessa lyhyemmäksi metsä- ja kaukokuljetuksen helpottamiseksi. Hakattujen kasojen annetaan yleensä kuivua metsässä muutama viikko, josta ne kuljetetaan kuormatraktorilla tienvarteen ilmavalle paikalle ja peitetään. Mittaaminen tapahtuu metsäkuljetuksen yhteydessä punnitsemalla.

## 6 VARASTOINTI TIENVARRESSA

Paikan valinnassa tulee huomioida kuivumisen kannalta oleelliset asiat. Lisäksi täytyy tietenkin huomioida haketus- ja kaukokuljetuskaluston esteetön pääsy paikalle. Paikan tulisi olla ympäröivää maastoa korkeammalla, tuulisella ja kuivalla paikalla, johon pääsee aurinko paistamaan. Kasan alla ei saa olla alikasvosta, joka kulkeutuu hiekkaisine juurineen hakkuriin kasaa hakettaessa. Kasaan ei saa päätyä metsäkuljetuksen aikana kiviä, rautaa tai muuta sinne kuulumatonta tavaraa. Työturvallisuuden takaamiseksi kasaa ei saa sijoittaa sähkölinjojen alle. Varastokasojen määrä tulisi minimoida, jotta sateen ja maakosteuden vaikutuksesta kastuvaa pinta-alaa olisi vähemmän. Mahdollisuuksien mukaan tehdään mieluummin yksi iso kasa kuin monta pienempää. Lumen päälle kasaa tehtäessä tulee huomioida lumen sulaminen. Kasa tai pino saattaa kaatua kaltevalla paikalla lumien sulaessa.

Energiaranka- ja hakkuutähdekasat tulee peittää lopuksi peittopaperilla. Peittopaperin tarkoituksena on ehkäistä sadeveden ja lumen pääsy kasan sisälle. Lisäksi peittäminen vähentää terveydelle haitallisten sienten ja bakteerien kasvua. (Hillebrand & Nurmi 2004, 24) Turhaan ei kuitenkaan kannata peittää, sillä peittopaperi on kohtalaisen kallista ja aiheuttaakin peittokustannuksista 80 %. Peitettyjen kasojen laatu on tasaisempi kuin peittämättömien. (Kontunen 2008, 18) Huomioiden kosteuden vaikutus energiarankahakkeen sisältämään energiamäärään voidaan laskennallisesti arvioida, että kahdella arkilla peittämisen tulisi laskea hakkeen kosteutta 6 - 8 prosenttiyksikköä, jotta peittämisestä aiheutuvat kustannukset tulisi katetuiksi. Yhdellä arkilla peitettäessä kustannukset tulevat katetuiksi, jos kosteutta voidaan alentaa 3 – 4 prosenttiyksikköä. (Hillebrand & Nurmi 2004, 17) Energiarankapinon päällimmäiset puut pitää jättää hiukan alempia ulommaksi, jolloin ne muodostavat sadevesiltä suojaavan lipan.

Energiarankapinon alle tulee aina laittaa riittävä suuret aluspuut, joilla katkaistaan maakosteuden nousu pinoon. Lisäksi voidaan laittaa jolupuut 1-1,5m korkeudelle, kuten (kuva 1), niillä saadaan parannettua pinon tiiviimmän alaosan ilmanvaihtoa. Jolupuilla tarkoitetaan pinoon aluspuiden suuntaisesti laitettavia välipuita. Lopuksi pinoon merkitään tarvittavat tunnistet mieilellään pinolappujen lisäksi spraymaalilla. Pitkistä varastointiajoista johtuen pinolapuista ei ole yleensä kasaa pois vietäessä tietoaan.



**KUVA 1. Jolupuut karsitun energiarangan pinossa.**

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta tulee huomioida varastointia suunniteltaessa, mikäli energiapuukasassa on yli puolet ainespuun mitat täyttävää havupuutavaraa. Nykyisin energiapuukasoihin ei juuri kiinnitetä huomiota, mutta se ei tarkoita sitä, että lakia ei tarvitsisi noudattaa. Velvoitteet voidaan täyttää monella tapaa: Pino voidaan hakettaa tai kuljettaa pois määräaikoihin mennessä. Vähimmäisvaatimus on poistaa määräaikaan vähintään puolen metrin kerros pinon pintakerrosta. Jos edellä mainitut keinot eivät ole mahdollisia, voidaan pino peittää siten, että peittopaperi peittää kokonaan pinon pintakerroksen ja sivut ovat peitossa koko pinon matkalta puoli metriä yläreunasta alaspäin. Peittämistä, hakettamista tai poiskuljettamista ei tarvitse tehdä, jos pinon pintakerros on yli puolen metrin paksuudelta lehtipuuta tai ainespuuta pienempiläpimittaista puuta. (Äijälä ym. 2010.)

## **7 PUU POLTTOAINEENA JA POLTTOLAITOSTEN VAATIMUKSET**

Puu on hyvä luontainen lämmönlähde, koska polttamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt eivät lisää jo valmiiksi luonnon kiertokulussa olevan hiilidioksidin määrää.

Puuhun sitoutunut hiilidioksidi vapautuisi muutenkin puun lahotessa aikanaan. Puupereistä polttoainetta saadaan muutenkin metsäteollisuuden prosessien sivutuotteena, mutta tuleviin päästötavoitteisiin pääsemiseksi puuta on korjattava polttoaineeksi myös suoraan metsästä eri menetelmin. Kotitaloudet käyttävät puuta lämmittämiseen pääsääntöisesti klapeina, mutta lämpölaitokset käyttävät haketta. Haketta saadaan kokopuusta, rangoista ja hakkuutähteistä. Lisäksi suuremmat polttolaitokset käyttävät kannoista murskaamalla saatavaa mursketta.

Öljyyn verrattuna puu ei ole yhtä tasalaatuista ja helppoa poltettavaa ja vaatiikin laitokselta paljon. Lisäksi puupolttoaineiden lämpöarvo suhteutettuna tilavuuteen on pienempi. Toisaalta puun hiilijalanjälki on pienempi, puu on kotimaista ja energiapuun korjuu työllistää ihmisiä. Energiapuun kasvattaminen ei varsinaisesti nykyisellään ole kannattavaa, mutta käyttö edesauttaa muuten hoitamatta jäävien nuorten metsien hoitoa. Nyrkkisääntönä voi yleensä pitää, että hakkeen tulee olla sitä kuivempaa ja tasalaatuisempaa mitä pienempi lämpölaitos on kyseessä.

Kosteus on polttihakkeen tärkein laatuominaisuus. Toinen tärkeä ominaisuus on tasalaatuinen palakoko. Hakepalan keskimääräinen tavoitepituus on keskimäärin 30 - 40 mm (Alakangas 2000, 48). Omakoti- ja maatalouskokoluokan (20 - 200 kW) kattilat vaativat eniten hakkeen laadulta. Hakkeen tulee olla hyvin tasalaatuista ja kuivaa, jotta häiriöitä ei tulisi. Hakkeen kosteuden tulisi olla alle 25 %. Hakkuutähteistä tehty hake ei sovellu pienkohteisiin. Keskikokoisissa laitoksissa (200 - 1000kW) voidaan käyttää myös hakkuutähteistä tehtyä haketta. Tämän kokoluokan laitokset vaativat myös kohतालaisen tasalaatuista haketta. Hakkeen kosteuden tulisi olla alle 40 %. Suuret (> 1000kW) laitokset eivät ole polttoaineen laadun suhteen kovin ronkeleita. Paras hyötysuhde ja toimintavarmuus saadaan kuitenkin pienempien tapaan tasalaatuisella ja kuivalla polttoaineella. (Laatuhakkeen tuotanto-opas 2010, 6 - 7)

Suuret laitokset käyttävät yleensä hakkeen lisäksi kantomursketta. Suurissa laitoksissa voidaan sekoittaa kosteampia eriä kuivempiin ja kompensoida liiasta kosteudesta syntyviä haittoja. Liian kosteasta polttoaineesta koituu monenlaista harmia, esim. polttoainetta tarvitaan enemmän huonomman lämpöarvon vuoksi. Laitoksen sähkönkulutus nousee ja hyötysuhde laskee. Märkä hake voi jäätyä tai alkaa pidempiaikaisessa varastoinnissa lämmitä kompostoitumisen vuoksi. Suurempi kosteus lisää tuhkan määrää.

Märkä hake on otollinen kasvualusta sienille ja homeille, joista aiheutuu terveyshaittoja. (Lepistö 2010, 7)

Huonolaatuisesta hakkeesta koituvat seisokit ja häiriöt poltossa koituvat pitkässä juoksussa kalliiksi, oli laitoksen kokoluokka mikä tahansa. Myös liian kuiva polttoaine voi aiheuttaa suurten laitosten leijukerroskattiloissa ongelmia. Petimateriaalina käytettävä hiekka alkaa agglomeroitumaan kattilan lämpötilan noustessa liian suureksi. Agglomeroitumisella tarkoitetaan petipartikkeleiden koon kasvua yhteen liimautumisen johdosta. Kyseinen ilmiö voidaan ehkäistä polttamalla turvetta hakkeen joukossa. (Alakangas 2002, 207)

## **8 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET**

Metku-projektin tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa energiapuun (energiaranka, hakkuutähteet ja kannot) parhaista ja huonoimmista korjuu- ja varastointimenetelmistä kosteuden kannalta, sekä tuottaa aineistoa energiapuun mittaustoimikunnalle kantuun tuoretiheystaulukoiden laadintaan. Energiapuun mittaustoimikunnan hyväksymässä energiapuun mittausoppaassa ei ole esitetty kantuun tuoretiheyslukuja. Käytännön energiapuun hankinnassa kantuulle tarvittaisiin tuoretiheysluvut luovutus- ja työmittausten jouhevaan toteuttamiseen. Tuoretiheyslukuja voidaan käyttää metsäkuljetuksessa kuormainvaa’alla punnitun kantuun massan muuntamiseen kiintotilavuudeksi. Tarkoituksena on selvittää touko-syyskuussa nostetun kantuun kosteusmuutokset varastoinnissa liittyen Energiapuun mittaustoimikunnan osapuolten kantuun tuoretiheystaulukoiden koekäyttösopimukseen. Lisäksi saadaan kokemusta kantojen punnitsemisen onnistumisesta lähikuljetuksen yhteydessä. Kantuun kosteusaineiston keruu tehdään Metlan 14.1.2010 ohjeluonnoksen mukaan soveltaen murskausmahdollisuuksien mukaan.

Kantuun mittaukseen on hyväksytty koekäyttöön tarkoitettu painomittauksen mittausmenetelmäohje tuoretiheyslukuineen (14.1.2010). Ohje on luonteeltaan kehitteillä olevan mittausmenetelmän kokeiluohje kantuun työmittauksessa. Käyttökokemusten ja tuoretiheyslukuihin tehtävien mahdollisten tarkennusten jälkeen ohje voidaan siirtää energiapuun mittaustoimikunnan käsiteltäväksi ja hyväksyttäväksi energiapuun mittausoppaassa.

Tuoretiheyslukujen määrittämiseksi tarvitaan tietoa kantopuun kosteuden tasosta kantojen nostoajankohtana sekä kosteuden muutoksesta noston jälkeen. Metsäkuljetus ja kuormainvaakapunnitus tehdään yleensä noin kuukauden kuluessa kantojen nostosta, joten erityisen tärkeää on tuntea kantopuun kosteuden muutos tällä aikavälillä.

## **9 TUTKITTAVAT VAIHTOEHDOT**

### **9.1 Karsittu energiaranka 952 (normaali tienvarsipino)**

Koetyömaat hakataan toukokuusta elokuuhun 1 kk välein ja metsäkuljetus tehdään välittömästi hakkuun jälkeen. Työmaita on 4 palstaa á 60 - 105 m<sup>3</sup>. Kuivatus tapahtuu pinossa tienvarressa. Koekuorman á 15 - 20 m<sup>3</sup> toimitus koehaketukseen joka työmaalta 4 viikon välein kuukausina 5 - 7. Kuivattamisen loppupuoella kuukausina 8 - 9 toimitukset tapahtuvat 2 viikon välein. Ensimmäinen koe-erä lähtee haketettavaksi heti metsäkuljetuksen jälkeen. Tarkoituksena on seurata karsitun energiarangan kuivumista koko kesän ajan ja tutkia eri hakkuuajankohdan vaikutuksia kuivumiseen. Lisäksi tämä korjuu- ja kuivatustapa toimii verrokkina jolupuupinossa ja palstalla kuivatettaville erille. Näin saadaan selville paras kuivattamismenetelmä.

### **9.2 Karsittu energiaranka 952 (jolupuupinossa)**

Koetyömaita hakataan toukokuussa. 2 palstaa á 75 m<sup>3</sup>. Kuivatus tapahtuu tienvarressa jolupuupinossa ja toimitus 4 - 2 viikon välein, kuten normaalissa pinossa kuivatettava energiaranka. Ero edellä mainittuun menetelmään on tienvarsipinoon laitettavat jolupuut, jotka luultavasti parantavat pinon alimman osan ilmanvaihtoa ja näin edesauttavat kuivumista.

### **9.3 Karsittu energiaranka 952 (kuivatus palstalla)**

Koetyömaita hakataan kesäkuussa ja heinä-elokuun vaihteessa 2 palstaa 60 ja 30 m<sup>3</sup>. Ensimmäinen 15 m<sup>3</sup> metsäkuljetus 2 viikkoa hakkuusta ja seuraavat 15 m<sup>3</sup> erät kuukauden välein. Erät viedään aina heti metsäkuljetuksen jälkeen voimalaan haketettavaksi. Tässä menetelmässä puut siis kuivatetaan levällään palstalla, josta ne lähtevät suoraan haketettavaksi ilman tienvarsikuivatusta. Näin saadaan tietoa, milloin on kuivattamisen kannalta paras hetki metsäkuljetukselle.

### **9.4 Karsimaton energiaranka 994 (kuivatus tienvarsipinossa)**

Koetyömaita hakataan touko- elokuussa. 4 palstaa á 30 - 75 m<sup>3</sup>. Metsäkuljetus tapahtuu 2 viikon päästä hakkuusta. Koekuormia viedään kuukauden välein voimalaan haketettavaksi. Näin saadaan tietoa kokopuun kuivumisesta nykyisellä korjuumallilla ja voidaan verrata menetelmää palstakuivatukseen

### **9.5 Karsimaton energiaranka 994 (kuivatus palstalla)**

Koetyömaita hakataan kesäkuussa ja heinä-elokuun vaihteessa 2 palstaa 60 ja 30 m<sup>3</sup>. Ensimmäinen 15 m<sup>3</sup> metsäkuljetus 2 viikkoa hakkuusta ja seuraavat 15m<sup>3</sup> erät kuukauden välein. Erät viedään aina heti metsäkuljetuksen jälkeen voimalaan haketettavaksi. Tällä menetelmällä saadaan tietoa kokopuun kuivumisesta palstalla ja löydetään lisäksi kuivattamisen kannalta paras hetki metsäkuljetukselle vertaamalla menetelmää tienvarsikuivatukseen.

### **9.6 Latvusmassa (kuivatus tienvarsimuodostelmassa)**

Koetyömaita hakataan huhtikuusta kesäkuuhun 3 palstaa á 45 - 75 m<sup>3</sup>. Metsäkuljetus tapahtuu 2 viikon päästä hakkuusta. Ensimmäinen erä voimalaan heti metsäkuljetuksen jälkeen ja seuraavat kuukauden välein. Tällä menetelmällä saadaan tietoa latvusmassan kuivumisesta tienvarressa ja voidaan verrata kuivumista palstakuivatukseen. Saadusta tiedosta voidaan päätellä kuivattamisen kannalta oikea hetki metsäkuljetukselle.



### **9.7 Latvusmassa (kuivatus palstalla)**

Hakataan huhtikuusta kesäkuuhun 3 palstaa á 45 - 75 m<sup>3</sup>. Ensimmäinen 15 m<sup>3</sup> metsäkuljetus heti hakkuun jälkeen ja seuraavat 15m<sup>3</sup> erät kuukauden välein. Koe-erät kuljetetaan haketettavaksi heti metsäkuljetuksen jälkeen. Nämä erät toimivat verrokkina edellä mainituille.

### **9.8 Kantopuun kosteusmuutos (kuivatus tienvarressa)**

Kantojen nosto toukokuusta elokuuhun 5 palstaa á 45 - 75 m<sup>3</sup> Metsäkuljetus tehdään viikon päästä nostosta. Ensimmäinen erä voimalaan heti metsäkuljetuksen jälkeen ja seuraavat kuukauden välein. Näin saadaan seurattua nostoajankohdan ja kuivatusajan vaikutuksia kantopuun kosteuteen.

## **10 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS**

### **10.1 Tutkimuksen tavoite**

Tutkimuksessa selvitettiin kenttäkokein ja koekuormin lämpövoimalalle karsitun ja karsimattoman energiarangan sekä latvusmassan toimivimmat kuivattamis- ja varastointitavat kuivumiskaudella touko-syyskuu 2010. Selvitettiin tienvarsimuodostelmis- ja -pinoissa kuivatuksen tehokkuus verrattuna palstalla kuivatukseen. Lisäksi selvitettiin myös sääolosuhteiden (lämpösumma, sadanta, aurinkoon altistuminen, haihdunta ym.) vaikutusta energiapuun kuivumiseen. Tutkimukseen liitettiin säätietojen keruu työmaatasolla koko kuivumiskauden ajalta. Tietoa kerättiin myös lähimmiltä sääasemilta. Välivarastopaikat arvioitiin kolmiportaisella asteikolla. Hyvä paikka on aukea, kuiva ja tuulinen. Huono on varjoisa paikka, johon ei tuuli käy ja keskimäinen luokka näiden väliltä.

Määrä- ja kosteustiedot selvitettiin eräkohtaisesti toimituksista Äänevoimalle. Koe-erät korjattiin Metsäliiton Viitasaaren ja Jyväskylän piirien alueella sijaitsevilta normaaleilta leimikoilta voimassa olevien korjuuohjeiden mukaisesti. Soveltuvimmat kohteet valittiin apulaispiiripäälliköiden ja ostoesiemiesten avustamana. Hakkuu, nosto ja metsäkuljetuspäivät olivat ennakoon suunniteltuja ja aikataulussa pysyminen oli

ensiarvoisen tärkeää. Samaa tavaralajia olevat verrokkierät pyrittiin saamaan mahdollisuuksien mukaan samoilta työmailta, jotta tulokset olisivat mahdollisimman hyvin vertailukelpoisia.

## 10.2 Korjuu ja kaukokuljetus

Koe-erien hakkuun, noston ja metsäkuljetuksen hoitivat Metsäliiton sopimusyrittäjät voimassa olevien menetelmien ja ohjeiden mukaan. Erät punnittiin metsäkuljetuksen yhteydessä ja kaikkien työvaiheiden toteuttamisesta pidettiin päivämäärät ylhäällä myöhempää tarkastelua ja laskentaa varten. Välivarastopaikat olivat ostoiesimiesten normaalisti valitsemia ja oston yhteydessä maastoon tai karttaan merkitsemiä. Energiaranka- ja hakkuutähdekasat peitettiin normaalisti peittopaperilla. Välivarastopinoihin merkittiin tunnistetietojen lisäksi kolminumeroinen tunnistekoodi, joka piti erät erillään. Sekaantumisia olisi voinut sattua muutoin, koska samoilta leimikolta tuli useampia tutkittavia vaihtoehtoja ja tällöin sopimusnumero oli sama. Koe-erät ajettiin metsäenergian kuljettamiseen tarkoitetuilla kuorma-autoilla Äänevoiman haketus kentälle suunniteltuina päivinä omiksi kasoikseen (kuva 2) ja merkittiin koe-eräkoodilla ja punaisella lapulla (kuva 3). Erät punnittiin mittaportilla eräkohtaisesti. Erien kuljettajat ohjeistettiin koe-erien keräämiseen ja kerrottiin, mistä tutkimuksessa on kyse, jotta kaikki sujui oikein.



**KUVA 2. Koe-eriä ajettuna Äänevoiman kentälle.**



**KUVA 3. Tunnistetiedot koe-erässä Äänevoiman kentällä.**

### **10.3 Haketus ja murskaus**

Erät haketettiin tai murskattiin Äänevoiman haketuskentällä suunnitellun aikataulun mukaisesti. Toimenpide suoritettiin erä kerrallaan erillisiksi kasoiksi kentälle (kuva 4). Murskatusta tai haketetusta kasasta otettiin kosteusnäyte näytepussiin, josta kosteus määriteltiin Metsä-Botnian laboratoriossa. Koe-erien haketuksen tai murskaamisen suoritti Kosken Megawatti Oy.





**KUVA 4. Koe-erän haketus kentälle.**

#### **10.4 Näytteenotto ja puulajisuhteet**

Näytepussi täytettiin murskatusta tai haketetusta kasasta kuudesta kohdasta tasaisesti kasan joka puolelta. Näyte kourastiin kasasta noin metrin korkeudelta työntäen kättä hiukan kasan sisään. Näytepussiin kirjoitettiin päivämäärä, kolminumeroinen eräkoodi ja metku (kuva 5). Metku-sanalla varmistettiin, että näyte tunnistetaan muiden näytteiden joukosta myös laboratoriossa. Pussin sulkeminen piti varmistaa ja tarkistaa, että kaikki näytteet tuli otettua. Energiarankapinoista määriteltiin silmämääräisesti puulajisuhteet myöhempää laskentaa varten. Tuloksia tarvittiin myöhemmissä laskennoissa, koska eri puulajeilla on erilaiset kuivatuoretiheydet. Jos pääpuulajia on yli 70 % määrästä, on puulaji koko erälle kyseinen pääpuulaji.



**KUVA 5. Hakenäytepussit tunnistemerkintöineen.**

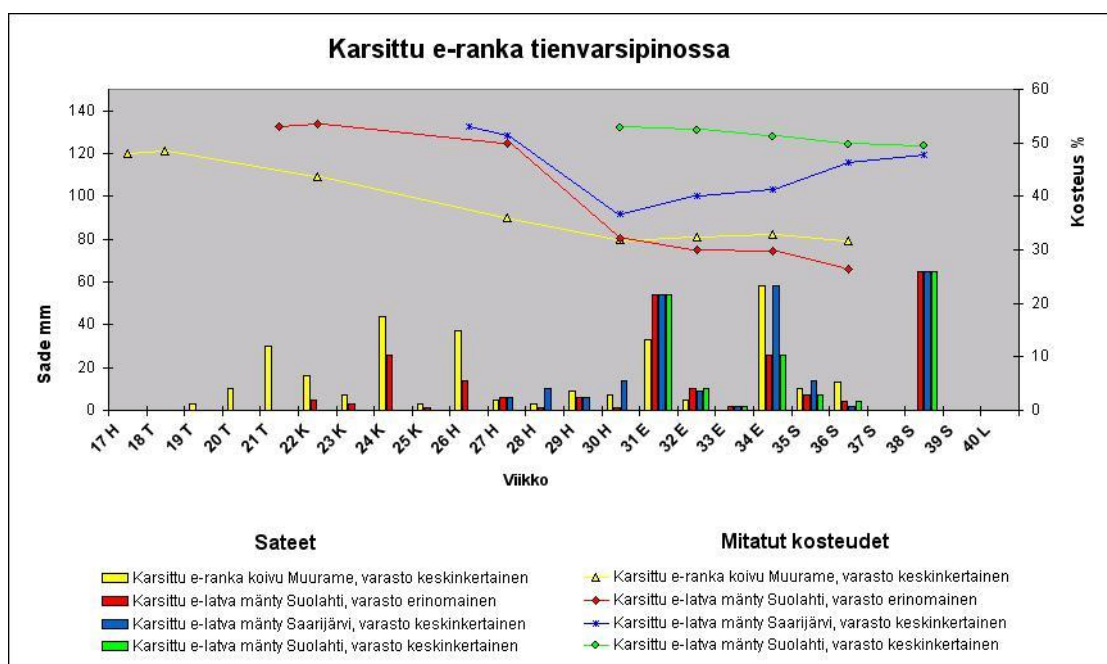
### **10.5 Sademäärän mittaus**

Koetyömaille laitettiin perinteiset mummonmökkien pihoista tutut yksinkertaiset sademittarit. Mittareista käytiin tarkastamassa sademäärä kerran viikossa. Sademäärät merkittiin muistiin myöhempää tarkastelua varten. Mittareilla ei päästy millintarkkaan tulokseen sademäärän määrittelyssä, mutta työmaakohtainen suuruusluokka sateen määrästä saatiin selville. Näin saatiin selvitettyä mahdollisten voimakkaiden sadeviikkojen vaikutukset näkyvinä muutoksina kuivumiskäyrissä.

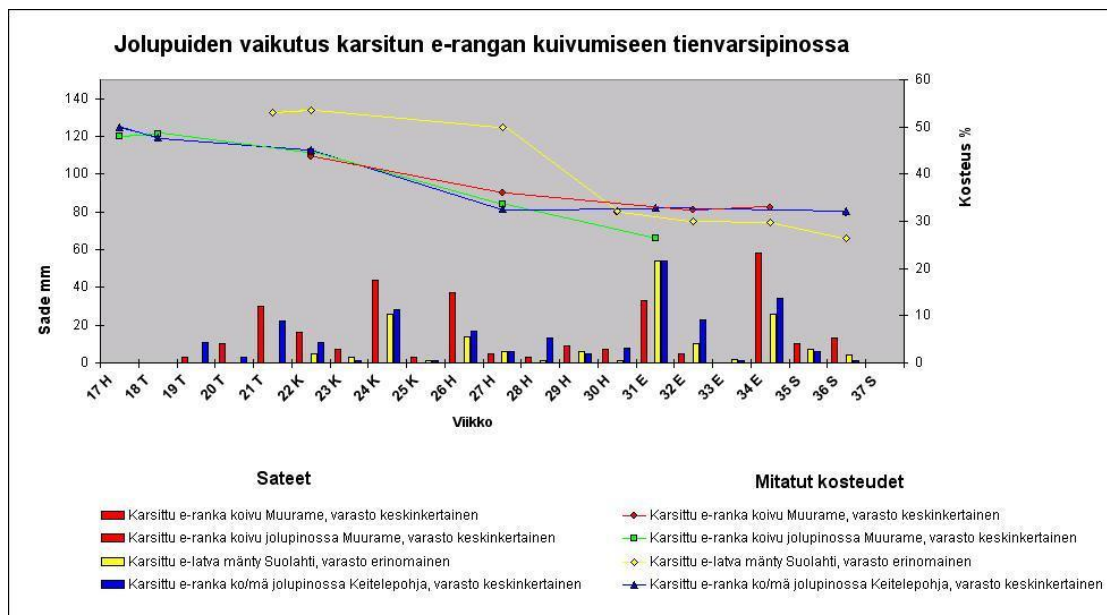
## **11 TUTKIMUSTULOKSET**

### **11.1 Karsittu energiaranka**

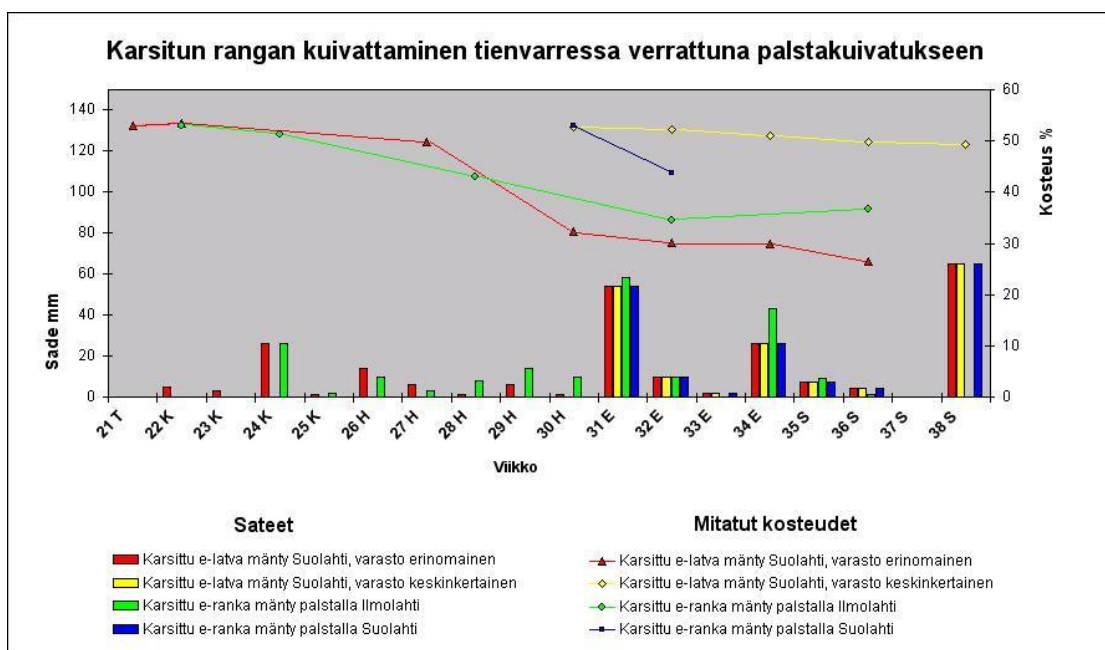




**KUVIO 1. Karsittu ranka kuivatettuna tienvarsipinossa.**

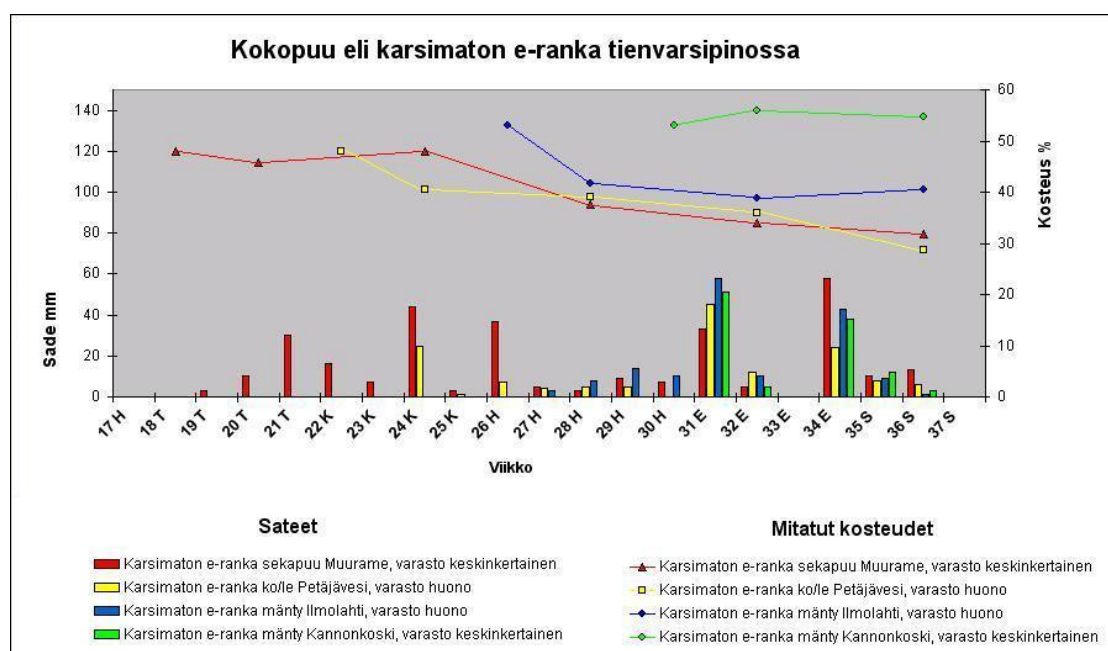


**KUVIO 2. Jolupuiden vaikutus karsitun e-rangan kuivumiseen tienvarsipinossa.**

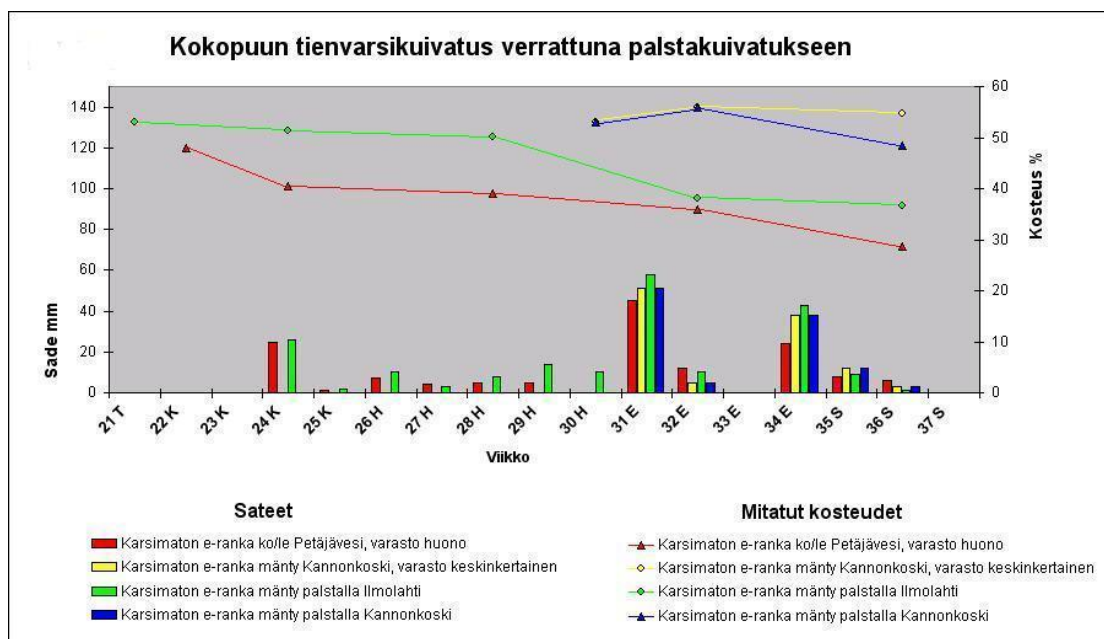


**KUVIO 3. Karsitun e-rangan kuivattaminen tienvarressa verrattuna palstakuivatukseen.**

## 11.2 Kokopuu eli karsimaton energiaranka

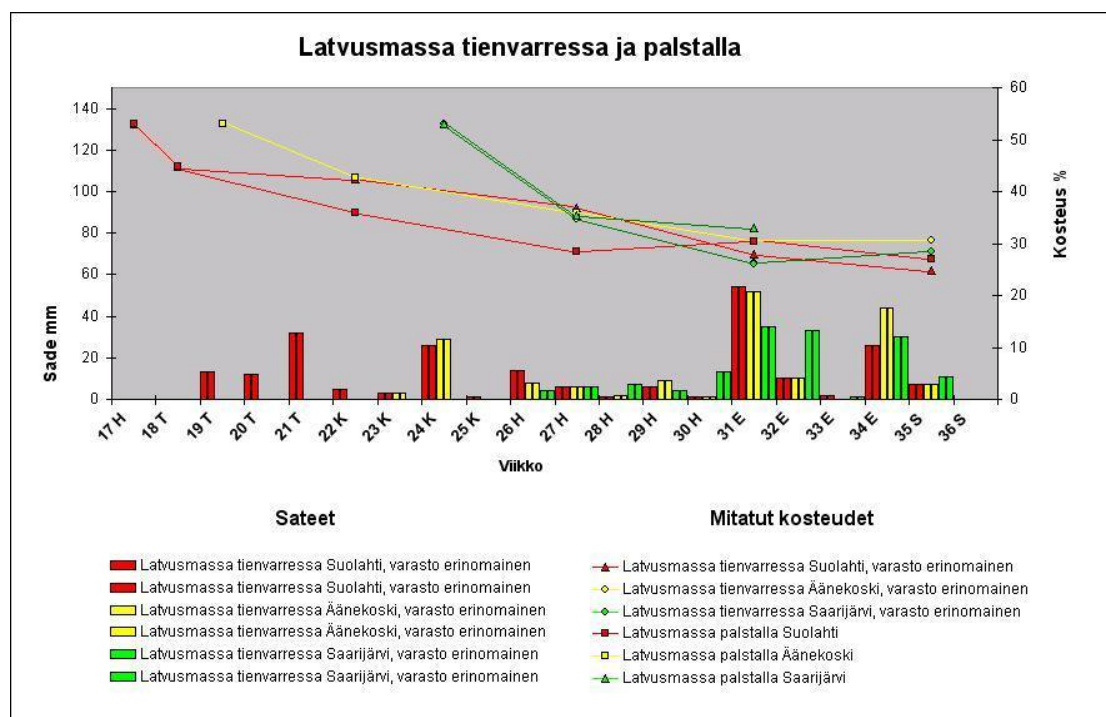


**KUVIO 4. Kokopuun kuivuminen tienvarsipinossa.**



**KUVIO 5. Kokopuun tienvarsikuivatus verrattuna palstakuivatukseen.**

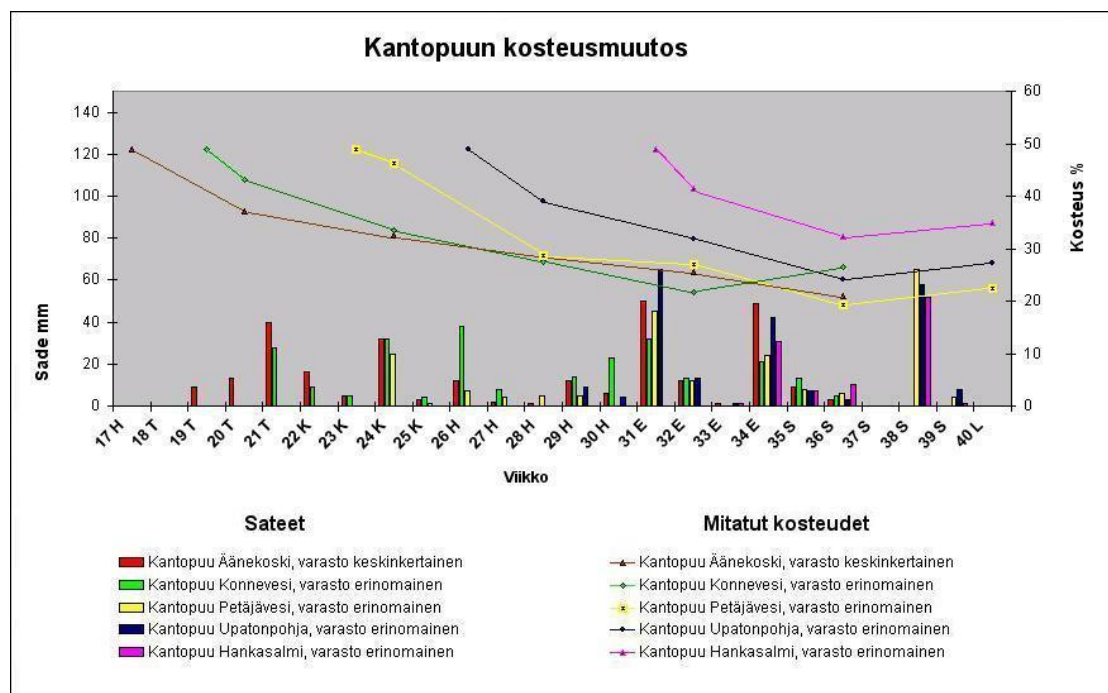
### 11.3 Hakkuutähteet



**KUVIO 6. Latvusmassan kuivuminen tienvarressa verrattuna palstakuivatukseen.**



## 11.4 Kantopuu



**KUVIO 7. Kantopuun kosteusmuutos**

## 12 YHTEENVETO

## 13 POHDINTA

Energiapuu puheenaiheena on ollut paljon metsäalan ihmisten huulilla viimeaikoina ja on hyvä, että aihetta tutkitaan. Välillä tuntuu, että metsäenergian korjuussa on toimittu alussa pelkästään luulojen perusteella ja ei niinkään tutkittuun faktaan perustuen. Korjuu- ja mittausten menetelmät hakevat varmasti vielä uomiaan ja kehittyvät entisestään. Omat mausteensa soppaan tuovat vielä muuttuva lainsäädäntö ja tukipoliittiset linjat. Toivottavasti tukijärjestelmiä ei muuteta jatkuvasti, koska se tuo vain epävarmuutta ja kukaan ei uskalla investoida energiapuuun varaan. Tehtävät investoinnit vaikuttavat lisäksi työllisyyteen ja maaseudun elinvoimaisuuteen.

Metsäenergian oston kannalta olisi hyvä miettiä energiapuun hinnoittelussa käytettäviä mittayksiköitä. Lämpölaitokselle on oleellista hakkeen energiasisältö ja tasalaatuisuus, mutta silti mitattavien yksiköiden tulisi olla myös myyjälle helposti hahmotettavia. Ymmärrettävin olisi hinnoitella energiapuu €/m<sup>3</sup>, koska ainakin iäkkäämpi metsänomistajapolvi ymmärtää tämän parhaiten. Hintoja on nyt miltei mahdoton verrata, kun hinnoittelu- ja mittaustapoja on melkein yhtä paljon, kun on toimijoita. Metsänomistajalle voi tulla helposti huijattu olo, jos hän ei ymmärrä, mitä käytetty mittayksikkö käytännössä tarkoittaa ja puusta saatu loppusumma ei ole kuvitellun kaltainen.

Varastopaikan valinta on metsäenergian korjuussa ensiarvoisen tärkeää ja siihen kiinnitetään mielestäni nykyisin aivan liian vähän huomiota. Asiaa on varmasti koulutettu metsäenergian kanssa työskenteleville, mutta energiapuukasa tehdään yleensä siihen, missä se viimeinen vapaa tila on. Kumma kyllä, se viimeinen vapaa tila ei yleensä todellakaan ole se paras varastopaikka energiapuulle. Asia ei varmasti ole niin helppo, miltä se äkkiä ajatellen vaikuttaa, mutta parantamisen varaa on takuulla. Varastopaikan oikealla valinnalla saataisiin varmasti parempilaatuista ja kuivempaa polttoainetta.

Mahdollisuus Metku-tutkimuksen tekemiseen tuli minulle hiukan äkkiä ja alku oli haastava, koska pelkästään käytännön toteutukseen liittyviä asioita oli niin paljon mietittävänä. Tutkimus onnistui mielestäni hyvin muutamaa pientä vastoinkäymistä ja informaatiokatkosta lukuun ottamatta, mutta ne ovat luullakseni hyvin yleisiä tämän tyyppisissä tutkimuksissa. Yllätyin Metsäliiton sopimusrityttäjien ja heidän työntekijöidensä positiivisesta suhtautumisesta tutkimuksessa avustamiseen ja ilman heidän oikeaa asennoitumistaan tutkimus ei olisi onnistunut, heille siitä iso kiitos. Kesän sääolot olivat kuivumisen kannalta otolliset, mutta eivät välttämättä optimaaliset tällaisen tutkimuksen tekemiseen. Uusien tuoretiheystaulukoiden laatimiseen saatiin kuitenkin tutkimustietoa ja ne ovat jo tätä kirjoitettaessa käytössä. Tuloksista on myös laadittu yleiseen käyttöön tarkoitettu Eppu-energiapuulaskuri, jolla on helppo laskea oikeat määrät tiedot syöttämällä. Tulevana kesänä energiapuun mittaaminen toimii jo huomattavasti helpommin. Punnitseminen on mielestäni toimivin ja vaivattomin mittaamenetelmä energiapuulle. Lisäksi energiapuun korjuuseen saatiin laadittua uusia käytännön toimintaohjeita havaintojen perusteella.

Saadut tulokset vahvistavat jo tiedossa olevia käsityksiä, mutta toivat myös uusia ajatuksia ja tutkimuksen aihetta. Jolupuiden käytöstä saadut kokemukset olivat positiivi-

sia tutkitun aineiston pienuudesta huolimatta. Yksi herännyt ajatus oli tutkia varastokasan tiivistymisestä talven aikana. Tiivistyykö varastokasa talven aikana niin paljon, että syksyllä tienvarteen tuoreena ajettu energiapuu ei kuivu seuraavana kesänä riittävän hyvin tai lähes lainkaan? Olisiko kannattavampaa antaa loppukesän ja kevään välillä hakatun kostean energiapuun kuivua palstalla seuraavaan kesään ja ajaa vasta sitten tienvarteen kuivumaan? Toinen asia on kantojen varastointiaika tienvarressa. Onko pitkillä varastointiajoilla oikeasti positiivista vaikutusta kantojen puhtauteen?

## **LÄHTEET**

Alakangas, Eija 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Otamedia Oy

Alakangas, Eija 2002. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja. Espoo: Otamedia Oy

Bioenergia maa- ja metsätaloudessa 2008. WWW-dokumentti.  
<http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5xAwVwfhQ/bioenergiamuistio.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 10.4.2011

Hillebrand, Kari & Kouki, Jyrki 2006. Pilkkeen kuivaus. Helsinki: TTS

Hillebrand, Kari & Nurmi, Juha 2004. Nuorista metsistä korjatun energiapuun kuivaus ja varastointi. VTT Prosessit. Projektiraportti.

Knuuttila, Kirsi (toim.) 2003. Puuenergia. Jyväskylä: Gummerus.

Kontunen, Päivi 2008. Korjuun ja varastoinnin vaikutus hakkuutähteen lämpöarvoon. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Metsätalous. Opinnäytetyö.

Kärhä, Kalle 2009a. Metsähakkeen käytön lisääminen mahdollista muttei helppoa. WWW-dokumentti.  
<http://www.metsateho.fi/tiedotteet/tiedote?id=16994053&year=2009>. Päivitetty 30.3.2009. Luettu 10.4.2011

Kärhä, Kalle 2009b. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2009. WWW-dokumentti.  
[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja\\_2010\\_09\\_Metsahakkeen\\_tuotantoketjut\\_Suomessa\\_2009\\_kk.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_09_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_2009_kk.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 10.4.2011

Kärkkäinen, Matti 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy

Lepistö, Tanja (toim.) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Sastamala: Vammaspaino

Lindblad, Jari, Äijälä, Olli & Koistinen, Arto 2010. Energiapuun Mittaus. WWW-dokumentti.

[http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/aineistoja/energiapuun\\_mittausopas\\_EMT\\_hyvaksyty\\_27092010.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksyty_27092010.pdf). Päivitetty 27.9.2010. Luettu 15.10.2010

Melkas, Timo 2010. Markkinoilla olevat kuormainvääntimet ja niiden ominaisuudet. WWW-dokumentti.

[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja\\_2010\\_04\\_Markkinoilla\\_olevat\\_kuormainvääntimet\\_ja\\_niiden\\_ominaisuudet\\_tm.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_04_Markkinoilla_olevat_kuormainvääntimet_ja_niiden_ominaisuudet_tm.pdf). Päivitetty 23.3.2010. Luettu 15.10.2010.

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia, 2008. WWW-dokumentti.

[http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 10.4.2011

Äijälä, Olli, Kuusinen, Martti & Koistinen, Arto (toim.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.